

УДК 674.05:621

**С. И. Карпович<sup>1</sup>, А. А. Гришкевич<sup>1</sup>, С. С. Карпович<sup>2</sup>, О. Ю. Пискунова<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Институт повышения квалификации и переподготовки кадров  
по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ**МЕТОДИКА ВЫБОРА МАРОК ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ  
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА,  
РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ УДАРНЫХ НАГРУЗОК**

При работе дереворежущего инструмента в условиях ударных нагрузок наблюдаются случаи образования трещин не только в зоне резания, но и в корпусе, что приводит к его разрушению. Установление причин этого явления повысит работоспособность инструмента и безопасность его эксплуатации. Предложено работоспособность такого инструмента оценивать соотношением ударной вязкости к значению твердости. Это соотношение названо коэффициентом соответствия. По коэффициенту соответствия проведена оценка перспективности применения таких марок сталей, как Х12МФ, 6ХВ2С, 6ХВФ, Х12, для изготовления дереворежущего инструмента. Коэффициенты соответствия  $K_c$  приведенных марок сталей лежат в пределах 0,39–1,48, т. е. отличаются почти в четыре раза.

Анализ характера затупления лезвий показывает, что при твердости HRC меньше 50 износ протекает за счет его пластической деформации и отгиба кромки в направлении задней поверхности. При нанесении упрочняющих покрытий твердость основы должна быть не меньше этого значения, в противном случае на передней поверхности режущего клина будут создаваться растягивающие напряжения, что приведет к снижению эффективности упрочняющей технологии.

**Ключевые слова:** инструмент, сталь, затупление, износ, упрочнение.**S. I. Karpovich<sup>1</sup>, A. A. Grishkevich<sup>1</sup>, S. S. Karpovich<sup>2</sup>, O. Yu. Piskunova<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>Institute for Advanced Studies and Retraining for New Areas of Engineering,  
Technology and Economy of BNTU**THE METHOD OF SELECTION GRADES OF TOOL STEELS  
FOR THE MANUFACTURE OF WOODWORKING TOOLS,  
WORKING IN CONDITIONS OF IMPACT**

When wood-cutting tools are used for impact loads observed cases of cracking not only in the area of the blade, but in the hull, which leads to its destruction. Determining the reasons of this phenomenon increase the efficiency of the tool safety of operation. The working capacity of this tool proposed to evaluate ratio of impact strength to hardness. This ratio is called the coefficient of conformity. By coefficient of conformity carried assessment of the prospects of applications of steel grades Kh12MF, 6KhV2S, Kh6VF, Kh12 for manufacture of wood-cutting tools.

The coefficients of conformity  $K_c$  for these steel grades are in the range 0,39–1,48, that is, the difference of the utmost values differ by almost four times.

Analysis of the character of speeches of blades shows that the hardness HRC is less than 50 wear passes due to plastic deformation of the blade, of edge bending in the direction of the back surface. When applying hard coatings hardness should not be less then this value, otherwise hardening the front surface of the cutting wedge will create tensile stresses, which leads to a decrease in the efficiency of hardening technology.

**Key words:** tool, steel, dulling, wear, hardening.

**Введение.** Надежность и стабильность работы режущего инструмента определяется механическими свойствами корпуса и износостойкостью режущего клина. Прочность корпуса рассчитывают с учетом прочностных показателей металла на растяжение, изгиб, ударную вязкость.

Износостойкость инструмента определяется в первую очередь твердостью рабочей зоны. Ударная вязкость и твердость металла – показатели противоположные: с увеличением твер-

дости металла его ударная вязкость снижается и, наоборот, с уменьшением твердости ударная вязкость увеличивается. Определение оптимального соотношения этих показателей расчетным путем имеет прикладное значение – сокращает время и удешевляет технологию подготовительного этапа производства режущего инструмента.

**Основная часть.** При работе в условиях ударных нагрузок инструмент должен иметь не

только высокую твердость, но и высокие механические показатели, в первую очередь, на изгиб и удар. Только при оптимальном сочетании этих показателей можно ожидать хорошей работоспособности инструмента. Назовем это соотношение коэффициентом соответствия и обозначим  $K_c = KCU / HRC$ . Оценим по этому показателю перспективность применения инструментальных хромистых сталей, используемых для изготовления дереворежущего инструмента [1–3]. На рис. 1–4 приведены зависимости изменения твердости и ударной вязкости закаленных сталей X12МФ, 6ХВ2С, Х6ВФ, Х12 в зависимости от температуры отпуска [4–6].

В настоящее время для улучшения эксплуатационных показателей на инструмент наносят одно- или многослойные упрочняющие покрытия при повышенных температурах [7].

Ионно-плазменное азотирование опытных образцов было проведено при температурах порядка 400°C, поэтому соотношение значения ударной вязкости (KCU) и твердости (HRC) сталей будем определять при этой температуре.

Для стали Х12МФ показатели приведены при закалке образцов в масле при температуре 960–980°C (рис. 1). Коэффициент соответствия для этой стали при отпуске 400°C составляет  $KCU / HRC = 54 / 60 = 0,9$ .

На рис. 2 приведены показатели свойств стали 6ХВ2С при закалке от температуры 860–900°C и охлаждении в масле. Коэффициент соответствия для этой стали при отпуске 400°C составляет  $KCU / HRC = 21 / 53 = 0,39$ .

На рис. 3 приведены значения твердости и ударной вязкости для стали Х6ВФ после закалки в масле при температуре 1000°C. Коэффициент соответствия для этой стали при отпуске 400°C составляет  $KCU / HRC = 83 / 56 = 1,48$ .

На рис. 4 приведены показатели для стали Х12 после закалки от температуры 1000–1030°C при охлаждении в масле. Коэффициент соответствия для этой стали при отпуске 400°C составляет  $KCU / HRC = 34 / 59 = 0,58$ .

Для стали Х12МФ (рис. 1) соотношение ударной вязкости к твердости при отпуске 400°C составляет 0,9, а максимальное – при отпуске 300°C – 1,049, что обеспечивает работоспособность инструмента из этой стали как при проведении термической обработки, так и при последующем нанесении упрочняющих покрытий, например при ионно-плазменном азотировании.

Для стали 6ХВ2С отношение ударной вязкости к твердости (рис. 2) равняется 0,39 при температуре отпуска 400°C. Невысокое значение коэффициента соответствия указывает на неблагоприятное сочетание свойств инструментальной стали, подвергнутой таким режи-

мам термообработки. Лучшие эксплуатационные показатели для инструмента из этой стали следует ожидать при отпуске 200°C. При более высоком отпуске ударная вязкость стали резко снижается. При отпуске 200°C для этой стали  $K_c \approx 1,49$ , следовательно, такой режим термообработки потенциально обеспечивает лучшую работоспособность инструмента.

Определение коэффициента  $K_c$  надо проводить при значениях твердости  $HRC \geq 50$ . При более низких значениях происходит пластическая деформация лезвия, что ведет к потере работоспособности инструмента, в том числе с упрочняющим покрытием.

Инструмент из стали Х6ВФ (рис. 3) при отпуске 400°C имеет соотношение ударной вязкости к твердости – 1,48, что делает ее наиболее перспективной для изготовления инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок, в том числе и при нанесении упрочняющих покрытий. Положительным для этой стали является плавное снижение твердости при отпуске в пределах 200–600°C с сохранением значения твердости выше  $HRC = 50$ .

На рис. 4 приведены зависимости ударной вязкости к твердости для стали Х12. Коэффициент соответствия для этой стали при температуре отпуска 400°C составляет – 0,58, и это максимальный показатель на всем диапазоне отпуска от 200 до 500°C, что не гарантирует стабильность работы инструмента в условиях возникновения ударных нагрузок. При других температурах отпуска коэффициент соответствия для этой стали снижается до значения  $K_c = 0,15$ , что исключает стабильную работу инструмента.

В результате проведенного анализа можно рекомендовать оценку перспективности применения инструментальных сталей для изготовления режущего инструмента по соотношению значения ударной вязкости к твердости. Оптимальное значение этого показателя из проанализированных марок хромистых сталей находится на уровне единицы и выше. Для изготовления дереворежущего инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок, можно рекомендовать стали с содержанием хрома в пределах 6–8%.

Перспективы применения легированных сталей для изготовления инструмента с меньшим содержанием легирующих элементов связаны с возможностью использования технологий нанесения упрочняющих покрытий. При оценке эффективности упрочняющих технологий необходимо в совокупности учитывать свойства упрочненного слоя и изменения структуры и свойств металла основы, в первую очередь твердости.

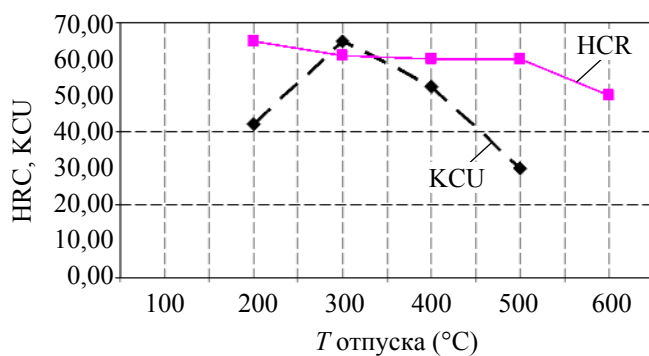


Рис. 1. Оптимальное соотношение твердости и ударной вязкости для инструментальной стали X12МФ

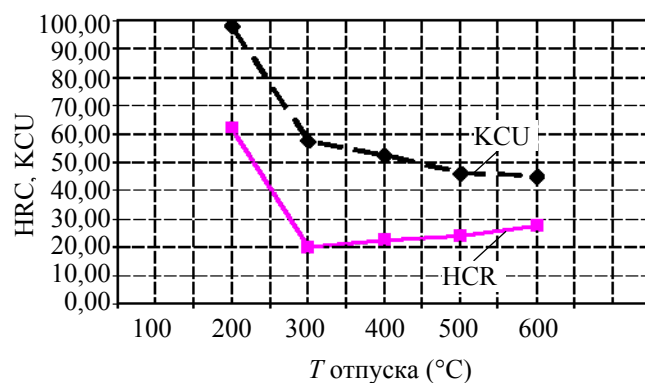


Рис. 2. Оптимальное соотношение твердости и ударной вязкости для инструментальной стали 6XB2C

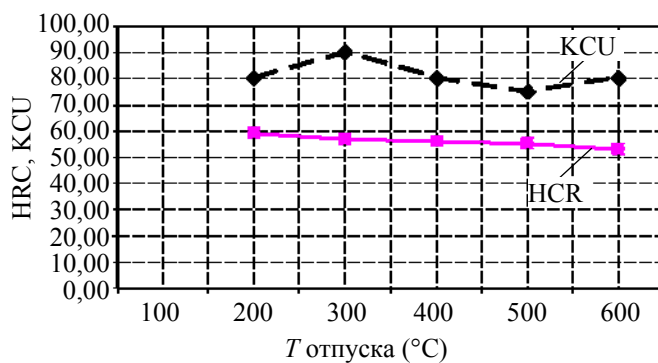


Рис. 3. Оптимальное соотношение твердости и ударной вязкости для инструментальной стали X6ВФ

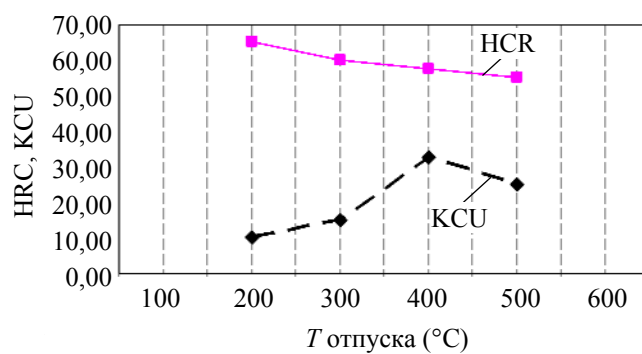


Рис. 4. Оптимальное соотношение твердости и ударной вязкости для инструментальной стали X12

Рассмотрим характер затупления инструмента в зависимости от твердости инструментального материала [8–9].

На рис. 5–7 приведен характер затупления лезвия инструмента с разной твердостью.

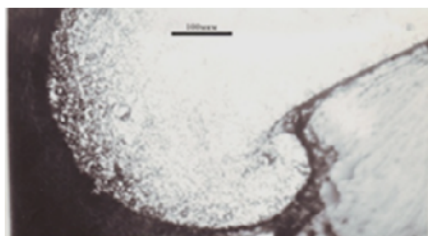


Рис. 5. Характер затупления лезвия при твердости инструмента HRC = 45

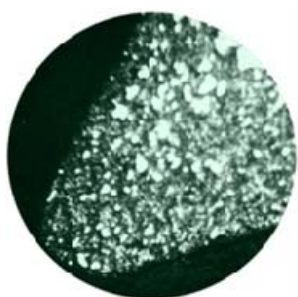


Рис. 6. Характер затупления лезвия при твердости инструмента HRC = 62

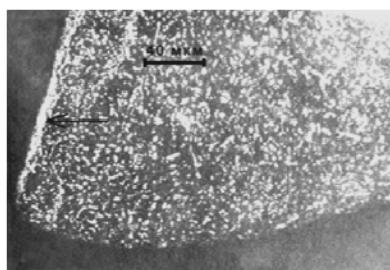


Рис. 7. Вид затупления реза с азотированным слоем (азотированный слой по стрелке)

При невысокой твердости инструментального материала, как видно из рис. 5, износ происходит за счет пластической деформации лезвия, отгиба кромки в направлении его задней поверхности.

На рис. 6 приведен характер затупления лезвия реза из стали твердостью HRC = 62. Преобладающим является затупление лезвия по задней поверхности режущего клина. При такой схеме затупления можно рекомендовать увеличение заднего угла режущего клина [10].

Предприятия – потребители ножей для рубильных машин предоставили нам образцы ножей с аварийным выходом из строя для определения причин их механического разрушения. Поставленный инструмент был разных

заводов-производителей. Фотографии аварийного инструмента представлены на рис. 8.

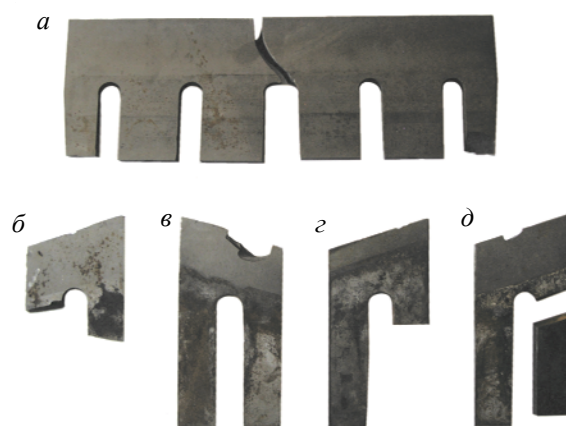


Рис. 8. Характерные формы разрушения рубильных ножей:  
а – сталь X12; б–д – сталь 6ХВ2С

Химический анализ рубильного ножа (рис. 8, а) показал, что он был изготовлен из стали X12, с твердостью HRC = 54. По значению твердости можно судить, что отпуск был проведен при температуре порядка 500°C. В этом случае коэффициент соответствия  $K_c = 0,45$ , что указывает на невозможность получения из нее качественного инструмента для работы в условиях ударных нагрузок. Проведение отпуска при 400°C обеспечивает стали более высокое значение ударной вязкости, но и в этом случае нельзя гарантировать безаварийную работу ударного инструмента. При креплении крупногабаритного инструмента размерами 16×170×465 мм между двумя фиксирующими плоскостями с помощью резьбовых соединений нельзя допускать попадания на них посторонних включений не только металлических, но и древесных (типа волокон древесины, коры, щепок). Эти включения создают при фиксации ножа в корпусе изгибающие напряжения и при последующих нагрузках от усилия резания провоцируют образование трещин как на лезвии, так и в корпусе инструмента.

На рис. 8, б–д приведен характер разрушения ножей из стали 6ХВ2С, с размерами 14×110×260 мм и твердостью HRC = 58. Судя по значению твердости, температура отпуска составляла порядка 300–350°C. В этом случае коэффициент соответствия  $K_c = 0,35$ , что указывает на склонность такого инструмента к хрупкому разрушению. Для инструмента из стали 6ХВ2С следует проводить отпуск при температурах 220–230°C. При таком отпуске коэффициент соответствия составляет 0,98, что обеспечит инструменту хорошую износостойкость, процесс затупления будет проходить по схеме микровыкрашивания и при отсутствии экстре-

мальных ударных нагрузок от инструмента можно ожидать устойчивой работоспособности.

Судя по состоянию поверхности корпуса, после термообработки он не шлифовался. Возникшая после термической обработки деформация не была устранена. При длине корпуса 260 мм величина прогиба будет значительной. В этом случае при закреплении ножей в корпусе создаются напряжения изгиба, что при последующих ударных нагрузках в процессе резания вызывало его разрушение. Крупные изломы на режущей части (рис. 8, в, д) явно вызваны попаданием в зону резания твердых предметов – камней, металла [11–15].

**Заключение.** Для сокращения времени и объема работ при выборе сталей для изготовления дереворежущего инструмента с последующим нанесением упрочняющих покрытий предложено оценивать их перспективность коэффициентом, рассчитываемым соотношением величины ударной вязкости к величине твердости HRC (при значениях выше 50).

Для изготовления дереворежущего инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок, рекомендуются хромистые стали с содержанием хрома в пределах 6–8%.

Сталь X12 малоприспособна для изготовления ножей рубильных машин.

### Литература

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1978. 508 с.
2. Новиков И. И. Материаловедение: в 2 т. М.: Металлургия, 2009. 2 т.
3. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты. М.: Высш. шк., 1971. 344 с.
4. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 1989. 339 с.
5. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1977. 647 с.
6. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка. М.: Металлургия, 1984. 359 с.
7. Режущий инструмент: пат. Респ. Беларусь, МПК С 23 С 28/00 / С. Д. Латушкина, Д. С. Карпович, О. И. Гапанович, А. Г. Жижченко, А. В. Емельянов, В. А. Емельянов, С. Ф. Сенько; заявитель Физико-технический ин-т НАН Беларуси, № u 20121066; заявл. 29.11.2012; опубл. 30.06.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013.
8. Моисеев А. В. Явления, сопровождающие износ дереворежущего инструмента // Совершенствование конструкции дереворежущих инструментов, методов их подготовки и эксплуатации. 1973. Вып. 7. С. 103–112.
9. Моисеев А. В. Комплексные исследования явлений, вызывающих износ дереворежущего инструмента // Механическая технология древесины. 1974. Вып. 4. С. 126–136.
10. Карпович С. С., Пискунова О. Ю., Карпович С. И. Рациональные схемы заточки лезвийного инструмента с упрочняющим покрытием // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 311–314.
11. Шагун В. И. Режущий инструмент. Проектирование. Производство. Эксплуатация. Минск: Пион, 2002. 496 с.
12. Металлорежущие инструменты / Г. Н. Сахаров [и др.]. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.
13. Ящерицын П. И., Еременко М. Л., Жигало Н. И. Основы резания материалов и режущий инструмент. Минск: Высш. шк., 1981. 560 с.
14. Шагун В. И. Режущий инструмент. Основы теории проектирования. Минск: Дизайн ПРО, 1998. 112 с.
15. Васин С. А., Верещака А. С., Кушнер В. С. Резание материалов: термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. 448 с.

### References

1. Geller Yu. A. *Instrumental'nye stali* [Tool steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 508 p.
2. Novikov I. I. *Materialovedeniye: v 2 tomakh* [Materials science: in 2 vol.]. Moscow, Metallurgiya Publ., 2009.
3. Grube A. E. *Derevorezhushchiye instrumenty* [Woodcutting tools]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 344 p.
4. *Marochnik staley i splovov* [Workbook of steels and alloys]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1989. 339 p.
5. Gulyaev A. P. *Metallovedeniye* [Metal science]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 647 p.
6. Lakhtin Yu. M. *Metallavedeniye i termicheskaya obrabotka* [Metal science and heat treatment]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 359 p.
7. Latushina S. D., Karpovich D. S., Gapanovich O. I., Zhizhchenko A. G., Emel'yanov A. V., Emel'yanov V. A., Sen'ko S. F. *Rezhushchiy instrument* [Cutting tool]. Patent BY, no. 20121066. 2013.
8. Moiseev A. V. Phenomena accompanying the wear of the cutting tool. *Sovershenstvovanie konstruktssii derevorezhushchikh instrumentov, metodov ikh podgotovki i ekspluatatsii* [Improving the design of woodcut-

ting tools, methods of their preparation and operation], 1973, no. 7, pp. 103–112 (In Russian).

9. Moiseev A. V. A comprehensive study of the phenomena of wear of wood cutting tool. *Mekhanicheskaya tekhnologiya drevesiny* [Mechanical technology of wood], no. 4, 1974, pp. 126–136 (In Russian).

10. Karpovich S. S., Piskunova O. Yu., Karpovich S. I. A rational scheme for sharpening the cutting edge of the tool with a reinforcing coating. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 311–314 (In Russian).

11. Shagun V. I. *Rezhushchiy instrument. Proyektirovanie. Proizvodstvo. Ekspluatatsiya* [Cutting tool. Design. Production. Operation]. Minsk, Pion Publ., 2002. 496 p.

12. Sakharov G. N., Arbuzov O. B., Borovoy Yu. L. [et al.] *Metallorezhushchiye instrumenty* [Metal cutting tools]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1989. 328 p.

13. Yashcheritsyn P. I., Eremenko M. L., Zhigalo N. I. *Osnovy rezaniya materialov i rezhushchiy instrument* [The basics of cutting materials and cutting tools]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1981. 560 p.

14. Shagun V. I. *Rezhushchiy instrument. Osnovy teorii proektirovaniya* [Cutting tool. Fundamentals of the theory of design]. Minsk, Dizayn PRO Publ., 1998. 112 p.

15. Vasin S. A., Vereshchaka A. S., Kushner V. S. *Rezaniye materialov: termomekhanicheskiy podkhod k sisteme vzaimosvyazey pri rezanii* [Cutting of materials: thermo-mechanical approach to the system of relationships when cutting]. Moscow, MGTU im. Bauman Publ., 2001. 448 p.

### Информация об авторах

**Карпович Семен Иванович** – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник кафедры материаловедения и технологии металлов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: mitm@belstu.by

**Гришкевич Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

**Карпович Сергей Семенович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Новые материалы и технологии». Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ (220107, г. Минск, пр-т Партизанский, 77, Республика Беларусь). E-mail: KarpovichSI@belstu.by

**Пискунова Ольга Юрьевна** – инженер кафедры материаловедения и технологии металлов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: olguriev@mail.ru

### Information about the authors

**Karpovich Semen Ivanovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher, the Department of Materials Science and Metal Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: KarpovichSI@belstu.by

**Grishkevich Aleksandr Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

**Karpovich Sergey Semenovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department “New Materials and Technologies”. Institute for Advanced Studies and Retraining for New Areas of Engineering, Technology and Economy BNTU (77, Partizanskiy Ave., 220107, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: KarpovichSI@belstu.by

**Piskunova Ol’ga Yur’yevna** – engineer, the Department of Materials Science and Metal Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: olguriev@mail.ru

Поступила 20.04.2017